

УДК 669.017

**М. Н. Ситкина<sup>\*</sup>, А. О. Мослех, С. В. Медведева, А. Д. Котов**

Национальный исследовательский технологический университет» «МИСиС,  
г. Москва

*\*sitkina.m@misis.ru*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК FE И B НА СТРУКТУРУ И СВЕРХПЛАСТИЧНОСТЬ СПЛАВА VT14

В ходе работы было показано, что легирование двухфазного сплава на базе системы Ti—Al—Mo—V (VT14) добавками 0,1 % В и 1,8 % Fe позволяет получить ультрамелкозернистую структуру, понизить температуру  $\beta$ -трансуса и температуру равенства объемных долей  $\alpha$  и  $\beta$  фаз, и, как следствие, снизить температурный интервал проявления сверхпластичности.

*Ключевые слова:* титановые сплавы, сверхпластическая деформация, температура  $\beta$ -трансуса, сверхпластическая деформация

**M. N. Sitkina, A. O. Mosleh, S. V. Medvedeva, A. D. Kotov**

## STUDY OF THE INFLUENCE OF FE AND B ON THE STRUCTURE AND TEMPERATURE OF SUPERPLASTIC DEFORMATION OF VT14 ALLOY

Alloying of two-phase alloy based on the Ti—Al—Mo—V system (VT14) with Fe and B makes it possible to obtain fine-grained structure, reduce  $\beta$ -transus and temperature equal volume fractions  $\alpha$  and  $\beta$  phases, and as result, to decrease superplastic deformation temperature.

*Key words:* titanium alloys, superplastic forming, tempreture of  $\beta$ -transus, superplastic deformation

**С**верхпластическая формовка является перспективным методом получения изделий сложной формы из листов титановых сплавов в связи с их низкой технологичностью при обработке традиционными методами формообразования [1–2].

Двухфазные ( $\alpha + \beta$ ) титановые сплавы системы Ti—Al—Mo—V являются перспективными материалами для сверхпластической формовки

в связи с их высокой технологичностью и хорошим комплексом механических свойств [3–5]. В тоже время эффективность применения данных сплавов снижается из-за высоких температур деформации (более 800 °С) в связи с тем, что наибольшие удлинения при сверхпластической деформации возможно обеспечить при температурах, формирующих структуру с близкой объемной долей  $\alpha$ - и  $\beta$ -фаз, что обусловлено как высокой термической стабильностью такой структуры, так и увеличением доли пластичной бета-фазы с высокой диффузионной проницаемостью. Такие высокие температуры формовки отрицательно сказываются на свойствах конечного изделия в связи с интенсивными процессами окисления.

Таким образом, целью данного исследования являлось снижение температуры сверхпластической деформации в сплаве на базе системы Ti–Al–Mo–V путем легирования добавками Fe и В.

Одним из путей решения данной проблемы является дополнительное легирование сплава элементами с высокой диффузионной способностью, например, добавками Fe, Ni, Co. Кроме того, эти элементы понижают температуру  $\beta$ -трансуса, тем самым снижая область существования равных объемных долей  $\alpha$ - и  $\beta$ -фаз.

Объектами исследования являлись сплавы Ti–4 %Al–3 %Mo–1 %V без добавок (сплав VT14), и с добавками 1,8 %Fe и 0,1 %В. Горячую деформацию сплавов проводили в двухфазной области при температуре 750 °С. В результате горячей прокатки сплава с добавками Fe и В сформировалась мелкозернистая структура (рис. 1, а) со средним размером частиц  $\alpha$  и  $\beta$ -фаз ( $0,8 \pm 0,1$ ) мкм. При этом доля  $\alpha$ - и  $\beta$ -фаз составила ( $55 \pm 4$ ) % и ( $45 \pm 2$ ) % соответственно.

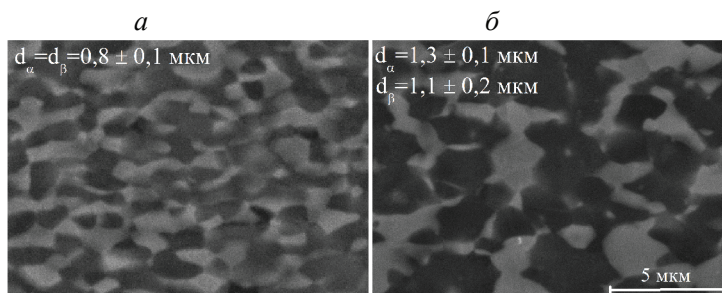


Рис. 1. Микроструктура сплава Ti–4 %Al–3 %Mo–1 %V–1,8 %Fe–0,1 %В:

а — после горячей деформации при температуре 750 °С;  
б — после 900 % сверхпластической деформации при 700 °С

Была построена температурная зависимость объемной доли фаз для сплава Ti–4 %Al–3 %Mo–1 %V–1,8 %Fe–0,1 %В при помощи программного пакета «Thermo-Calc», в котором соотношение объемных долей  $\alpha/\beta$ -фаз составляет 40–60 % в интервале температур 775...800 °С, что на 100 °С ниже, чем для сплава ВТ14 (875 °С).

Для определения показателей сверхпластичности вырезали образцы с размером рабочей части  $14 \times 6 \times 1$  мм<sup>3</sup>. На рис. 2 представлены результаты испытаний со скачковым понижением скорости (рис. 2, а) и с постоянной скоростью деформации  $1 \times 10^{-3}$  с<sup>-1</sup> при температурах 700 °С и 625 °С (рис. 2, б). Из результатов испытаний видно, что сплав с добавками Fe и В характеризуется более низкими напряжениями и более высоким показателем скоростной чувствительности  $m$  во всем скоростном интервале, также проявляет в два раза большее значение относительного удлинения (900 %) при сверхпластической деформации с постоянной скоростью  $1 \times 10^{-3}$  с<sup>-1</sup> при 700 °С по сравнению с классическим сплавом ВТ14. Стоит отметить, что дальнейшее понижение температуры деформации до 625 °С приводит к сильному увеличению напряжения течения при сохранении высокого относительного удлинения.

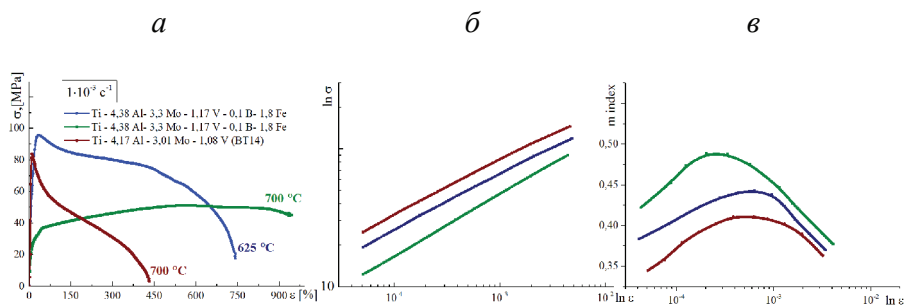


Рис. 2. Сравнение параметров сверхпластической деформации классического сплава ВТ14 и сплава схожего состава с добавками Fe и В:

- а — кривые растяжения при испытании с постоянной скоростью  $1 \times 10^{-3}$  с<sup>-1</sup>,  
 б — зависимость напряжения течения от скорости деформации,  
 в — зависимость показателя  $m$  от скорости деформации

Таким образом было установлено, что дополнительное легирование сплава ВТ14 добавками 1,8 %Fe и 0,1 %В позволяет снизить температуру сверхпластической деформации при сохранении высоких показателей сверхпластичности более чем на 100 °С.

## Литература

1. Mechanical and microstructural analysis on the superplastic deformation behavior of Ti-6Al-4V Alloy / C. S. Lee [et al.] // International Journal of Mechanical Sciences. 2000. V. 42. P. 1555–1569.
2. Jackson M. Superplastic forming and diffusion bonding of titanium alloys // Woodhead Publishing Limited, 2011. P. 227–245.
3. Zong Y. Y., Shan D. B., Lu Y. Microstructural evolution of a Ti-4.5Al-3Mo-1V alloy during hot working // Journal of Materials Science. 2006. V. 41. P. 3753–3760.
4. Superplasticity of metastable ultrafine-grained Ti 6242S alloy: Mechanical flow behavior and microstructural evolution / H. Imai [et al.] // Mater. Sci. Eng. A. 2019. V. 754. P. 569–580.
5. Hammond C., Salam A. Superplasticity and associated activation energy in Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr Alloy // Journal of Materials Science. 2005. V. 40. P. 5475–5482.